

Implementasi Identifikasi Sistem Kalang Tertutup untuk Asesmen Kinerja Pengendali Level pada Kondensor

Hardy F. Logiani¹, Awang N. I. Wardana², Andang W. Harto³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Fisika FT UGM
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

¹hardy.ferrysian.l@mail.ugm.ac.id

²awang.wardana@ugm.ac.id

³andang@ugm.ac.id

Intisari—Identifikasi sistem kalang tertutup adalah pendekatan eksperimental untuk menentukan model dinamis suatu sistem kalang tertutup. Pada makalah ini, identifikasi kalang tertutup digunakan untuk melakukan asesmen kinerja dari pengendali level pada kondensor. Algoritma yang digunakan adalah algoritma *closed-loop output error* (CLOE). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa model sistem kondensor adalah sistem orde dua. Dengan menggunakan model yang didapatkan kemudian dapat dilakukan simulasi untuk mendapatkan analisis tanggapan pada keadaan *transient* dan keadaan tunak. Simulasi menunjukkan sistem pengendalian terpasang mempunyai respon pengendali yang sangat responsif. Respon tersebut pada penelitian ini diperbaiki dengan melakukan penalaan ulang sehingga didapatkan respon pengendali yang lebih sesuai dengan sistem kondensor terpasang.

Kata kunci— Kondensor, identifikasi sistem, CLOE, pengendali PID.

Abstract—Closed-loop system identification was an experimental study to get the dynamic model of closed-loop system. In this paper, closed-loop identification is used to asses the performance of level controller in condenser. The algorithm that is used is closed loop output error (CLOE). The result shows that condenser model is a second order system. Then, the result model is used to simulate the transient and steady state response. It is described that the controller is very responsive. In this reseach, this controller response is re-tuned to match the existing condenser system.

Kata kunci— Condenser, system identification, CLOE, PID-controller

I. PENDAHULUAN

Kondensor adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah uap menjadi air. Kondensor dibagi menjadi dua jenis yaitu kondensor kontak langsung dan kondensor permukaan. Pada pembangkit listrik tenaga panas bumi yang memiliki siklus kerja terbuka, tipe kondensor yang digunakan adalah kondensor jet yaitu salah satu tipe kondensor kontak langsung. Perpindahan kalor yang terjadi di kondensor jet dilakukan dengan menyemprotkan air pendingin ke aliran uap yang masuk ke kondensor secara langsung. Air pendingin akan menerima kalor yang dilepaskan oleh uap saat proses kontak langsung antara uap dan air pendingin. Uap yang telah melepaskan kalornya akan mengembun (terkondensasi) menjadi air kondensat dan bercampur dengan air pendingin di bagian dasar kondensor pada temperatur akhir yang sama [1].

Kondisi di dalam kondensor harus dipertahankan dalam keadaan vakum. Vakum yang optimal pada kondensor akan memudahkan uap dari turbin menuju kondensor. Tekanan yang lebih rendah di kondensor menyebabkan uap akan bisa bergerak dengan mudah menuju kondensor. Pengkondisian vakum di kondensor dilakukan oleh ejektor udara. Cara Kerja injeksi udara ini ialah menghisap uap yang tidak dapat terkondensasi. Gas yang tidak terkondensasi jika dibiarkan di dalam kondensor meyebabkan proses kondensasi tidak akan berjalan maksimal dan menyebabkan pemampatan. Jika kondisi

ini terus berlanjut maka akan menyebabkan kerusakan pada turbin. Pemampatan yang berlebihan dapat menyebabkan tekanan balik dari uap yang tidak terkondensasi menuju turbin, akibatnya sudu-sudu turbin bisa rusak. Pengaruh lain adalah semakin beratnya kinerja turbin, dan berdampak pada putaran generator dan pada akhirnya mempengaruhi listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, level air di kondensor perlu dipertahankan. Air yang terlalu tinggi di dalam kondensor akan mengganggu proses penyemprotan.

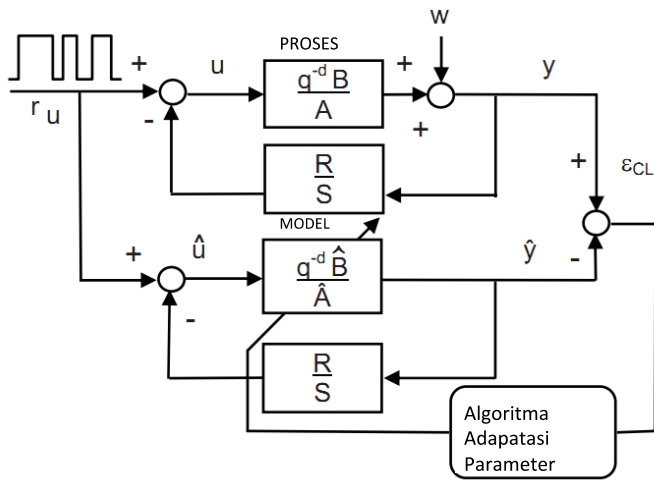
Penelitian ini akan menggunakan identifikasi kalang tertutup dengan algoritma *close loop output error* (CLOE) untuk melakukan asesment pada pengendali level pada kondensor yang terpasang di Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP). Metode identifikasi sistem dikembangkan oleh Landau [2] digunakan pada penelitian ini sehingga dapat ditemukan konstanta pengendali PID yang optimal. Makalah ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Logiani [3].

Makalah ini selanjutnya akan disajikan berikut. Pada bagian Bab II akan membahas ulasan tentang metode identifikasi kalang tertutup serta studi kasus yang digunakan untuk melakukan evaluasi yang digunakan pada pada penelitian ini. Hasil didiskusikan pada Bab III. Pada bagian akhir, Bab IV akan mendiskusikan kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini.

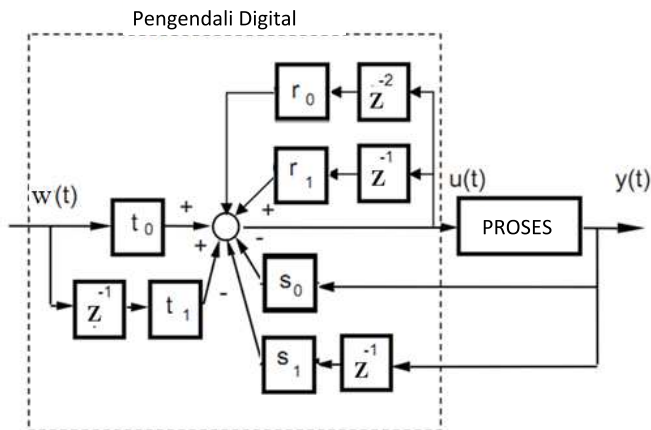
II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Identifikasi Sistem Kalang Tertutup

Identifikasi kalang tertutup adalah pendekatan eksperimental untuk menentukan model dinamis suatu sistem kalang tertutup yang banyak digunakan di industri [4,5]. Prinsip dasar metode identifikasi kalang tertutup yang digunakan pada penelitian ini adalah algoritma *close loop output error* (CLOE) [2]. Bagian atas Gambar 1 merupakan sistem kalang tertutup yang digunakan di lapangan sedangkan bagian bawah merupakan sistem kalang tertutup prediktor (dari model) Sistem kalang tertutup prediktor menggunakan pengendali yang identik dengan yang digunakan dalam sistem yang diidentifikasi.



Gambar 1. Prinsip kerja indetifikasi kalang tertutup [2]



Gambar 2. Diagram blok pengendali RST [2]

Prediksi kesalahan antara keluaran dari sistem kalang tertutup yang sebenarnya dan sistem kalang tertutup prediktor (*close loop output error*/CLOE) adalah ukuran perbedaan antara proses yang sebenarnya dengan model proses yang diperkirakan. Kesalahan ini dapat digunakan untuk melakukan

adaptasi parameter pada estimasi model proses. Dengan kata lain tujuan dari identifikasi kalang tertutup adalah untuk menemukan model proses terbaik dengan nilai CLOE yang paling minimum antara keluaran yang diukur dari sistem kalang tertutup yang proses dengan keluar dari model prediksi.

Pada Gambar 1, terlihat bahwa pengendali yang digunakan adalah pengendali RST (Gambar 2). Untuk itu, dikarenakan umumnya pengendali yang digunakan adalah pengendali *propotional integral derivative* (PI(D))/ *propotional derivative* (PD) maka diperlukan konversi konstanta pengendali PI/PD menjadi kontanta pengendali RST (Tabel 1). Persamaan PI(D) yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

$$U(z) = W(z) \left[K_p b + \frac{K_p zT}{(z-1)T_i} \right] - Y(z) \left[K_p + \frac{K_p zT}{(z-1)T_i} + \frac{K_p \frac{(z-1)T_d}{zT}}{\frac{(z-1)T_d}{zTN} + 1} \right] \quad (1)$$

TABEL 1
KONVERSI KONSTANTA PENGENDALI PI(D)/PD MENJADI KONTANTA
PENGENDALI RST [2]

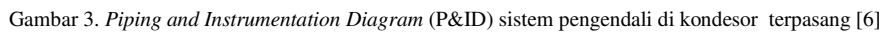
Koefisien	Kendali PI(D)	Kendali PD
a_i	$T_d / (T_d + NT)$	$T_d / (T_d + NT)$
b_d	Na_d	Na_d
b_i	T_i / T_i	T_i / T_i
r_0	1	1
r_1	$-(1 + a_d)$	$-a_d$
r_2	a_d	0
s_0	$K_p (1 + b_i + b_d)$	$K_p (1 + b_d)$
s_1	$-K_p (1 + a_d + b_d a_d + 2b_d)$	$-K_p (a_d + b_d)$
s_2	$K_p (a_d + b_d)$	0
t_0	$K_p (b + b_i)$	$K_p (b)$
t_1	$-K_p (b + b_d a_d + b_d a_d)$	$-K_p (b a_d)$
t_2	$K_p (b a_d)$	0

B. Studi Kasus

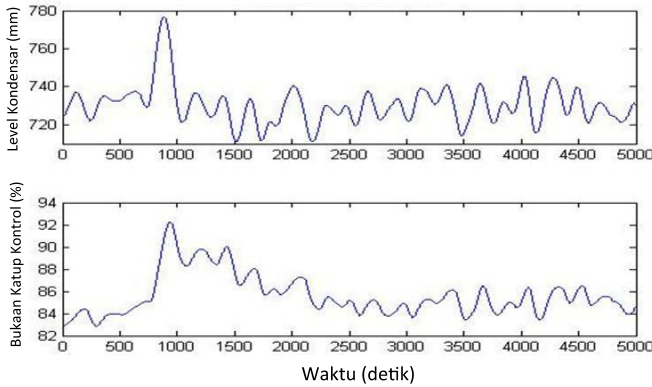
Studi kasus yang digunakan pada penelitian ini adalah kondensor yang terpasang di pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) yang menghasilkan 63,8 MW (Gambar 3). Uap yang digunakan pada PLTP ini mempunyai tekanan 9,67 Bar dan temperatur 183,4°C.

Data yang digunakan untuk dilakukan identifikasi adalah data dari transmitter level kondensat (mm) LT251A, dua data dari bukaan katup kontrol (%) LV251A dengan pengendali PID yaitu LIC251A. Kalang kontrol dari sistem yang akan diidentifikasi dapat dilihat pada diagram fungsi pada Gambar. 4.

Data variabel-variabel yang akan digunakan dalam proses identifikasi didapatkan pada kondisi operasi normal sebanyak 5000 data dengan waktu pencuplikan 1 detik (Gambar 5). Pada kondisi terpasang nilai dari konstanta propotional adalah 1, waktu integral sebesar 120 detik dan waktu derivatif adalah 0 detik.



Gambar. 4 Diagram fungsi kalang tertutup yang akan diidentifikasi [7].



Gambar. 5 Profil masukan dan keluaran berupa level kondensat (LT251A) dan bukaan katup kontrol (LV251A)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Konversi dari pengendali PID terpasang ke pengendali RST

Langkah pertama yang harus dilakukan sebelum melakukan identifikasi sistem kalang tertutup dengan menggunakan CLOE adalah mengkonversi pengendali PI(D) yang digunakan menjadi pengendali RST. Konversi yang dilakukan menggunakan panduan Tabel 1. Pengendali PI(D) yang terpasang mempunyai konstanta propotional adalah 1, waktu integral sebesar 120 detik dan waktu derivatif adalah 0 detik. Berdasar Tabel 1 maka nilai pengendali RST mempunyai nilai kontanta polinomial sebesar:

$$\begin{aligned} R(z) &= z^2 - z \\ S(z) &= 1,0083z^2 + 0,9917z \\ T(z) &= 0,0083z^2 - 0,0083z \end{aligned} \quad (2)$$

Persamaan (2) selanjutnya digunakan untuk identifikasi sistem kalang tertutup dengan menggunakan CLOE.

B. Identifikasi Sistem Kalang Tertutup dengan CLOE

Identifikasi sistem diperlukan untuk menentukan fungsi alih dari suatu sistem nyata dengan estimasi parameter yang telah ditentukan yaitu nilai orde sistem (n_a , n_b), masukan/keluaran dari proses, pengendali PI(D) yang sudah didiskritkan kedalam polinomial RST, nilai awal gain (F), dan nilai λ . Sesuai dengan Gambar 1, algoritma akan mencari nilai kontanta pada polinomi $B(z^{-1})/A(z^{-1})$ yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y(t) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u(t) z^{-1} z^{-d} + w(t) \quad (3)$$

dengan:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + A^*(z^{-1})z^{-1} \\ A^*(z^{-1}) &= a_1 + a_2 z^{-1} + \dots a_{n_A} z^{-n_A+1} \\ B(z^{-1}) &= 1 + B^*(z^{-1})z^{-1} \\ B^*(z^{-1}) &= b_1 + b_2 z^{-1} + \dots b_{n_B} z^{-n_B+1} \end{aligned} \quad (4)$$

Algoritma adaptasi parameter digunakan untuk mencari konstanta polinomial $B(z^{-1})/A(z^{-1})$. Algoritma tersebut akan mencari konstanta polinomial yang memiliki *loss function* $\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [y(t) - \hat{y}(t)]^2$ yang minimum.

Pada penelitian ini, empat macam orde proses dicobakan (Tabel 2). Hasil yang tercantum pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai *loss function* yang minimum terdapat pada nilai orde sistem sama dengan 3. Nilai dari *loss function* belum mewakili bahwa model dapat dipakai. Validasi diperlukan untuk menentukan nilai orde sistem (n_A , n_B), maupun nilai konstanta polinomial $B(z^{-1})/A(z^{-1})$ yang selanjutnya digunakan untuk mengukur kinerja dari sistem.

TABEL 2
HASIL DARI IDENTIFIKASI SISTEM

Fungsi alih model	Loss function
$G_p(z) = \frac{-0,05762}{z - 0,9264}$	93,7626
$G_p(z) = \frac{-0,05762z + 0,1788}{z^2 - 0,2704z + 0,03175}$	29,9082
$G_p(z) = \frac{83,41z^2 - 133,9z + 50,71}{z^3 - 84,88z^2 + 135z - 51,04}$	29,8516
$G_p(z) = \frac{185,9z^3 - 182,9z^2 - 176,9z + 174}{z^4 - 186,1z^3 + 184,3z^2 + 174z - 173,2}$	33,5769

C. Validasi Model Hasil Identifikasi Sistem

Dalam penelitian ini digunakan metode validasi statistik. Validasi statistik mempertimbangkan residu dari kesalahan prediksi antara keluaran plant sistem kalang tertutup yang sebenarnya dan keluaran proses sistem kalang tertutup prediktor [2]. alidasi model digunakan untuk membedakan model yang akurat terhadap model yang kurang akurat. Validasi model dapat dilakukan dengan cara uji *whitness* (*uncorrelation*). Uji tersenut dilaksanakan dengan menghitung $RN(0)$ dan $RN(i)$ dari kesalahan prediksi, dimana:

$$\begin{aligned} R(i) &= \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varepsilon_{cl}(t) \hat{y}(t-i) \\ RN(i) &= \frac{R(i)}{\left[\left\{ \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \hat{y}^2(t) \right\} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varepsilon_{cl}^2(t) \right\} \right]^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \quad (5)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, \max(n_A, n_B + d)$$

dengan $\varepsilon_{cl}(t)$ adalah kesalahan prediksi dan N jumlah data yang digunakan. Hasil validasi ditampilkan pada Tabel 3.

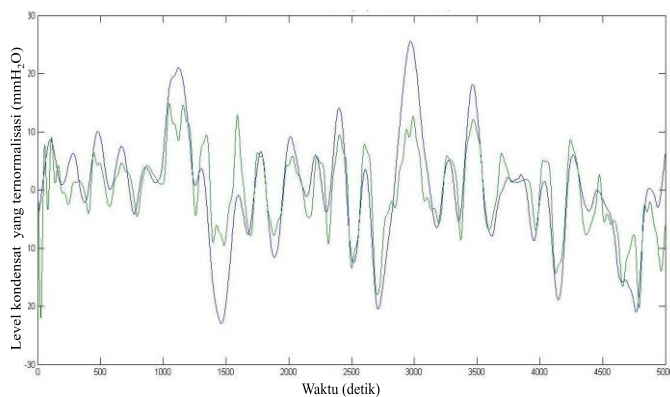
TABEL 3
HASIL DARI VALIDASI

	Orde nA dan nB			
	1	2	3	4
R(0)	4,4151	5,4549	6,4348	4,7962
RN(1)	0,3294	0,1436	0,1742	0,1229
RN(2)	0,3242	0,1409	0,1715	0,1217
RN(3)	0,3190	0,1390	0,1692	0,1215
RN(4)	0,3139	0,1380	0,1674	0,1225
RN(5)		0,1377	0,1660	0,1246
RN(6)				0,1377
RN(7)				0,1318
Max(RNi)	0,3294	0,1436	0,1742	0,1318
Teoretical limit			0,030688	
Practical limit			0,15	
Keterangan	Not valid	Valid	Not valid	Increase pole

Hasil dari validasi menunjukkan bahwa ternyata ada dua orde sistem yang valid yaitu orde 2 dan 4. Namun dikarenakan orde 4 mempunyai jumlah kutup yang lebih banyak maka ditentukan bahwa orde sistem yang digunakan adalah orde 2. Hasil tersebut (Tabel 3) kemudian satukan dengan hasil identifikasi sistem kalang tertutup (Tabel 2), maka kemudian didapatkan nilai nilai konstanta polinomi $B(z^{-1})/A(z^{-1})$ adalah sebagai berikut:

$$G_p(z) = \frac{0,5826z + 0,1788}{z^2 - 0,2704z + 0,03175} \quad (6)$$

Gambar 6 adalah hasil simulasi untuk mengetahui performa keluaran dari model orde dua hasil identifikasi sistem yang ditunjukkan oleh persamaan (9). Garis hijau merupakan nilai keluaran dari model sedangkan garis biru merupakan nilai keluaran dari plant yang sebenarnya. Dapat dilihat dalam grafik bahwa nilai keluaran dari model sudah mendekati nilai yang sebenarnya meskipun nilai *loss function* mencapai 29,9082 karena model menganggap data masukan pertama sebagai data pertama kalinya sehingga terdapat tanggapan *transient*, karena data yang digunakan adalah data saat plant dalam kondisi tunak (*steady state*) sehingga keluaran plant yang sebenarnya tidak memiliki tanggapan *transient* sehingga nilai *loss function* menjadi sangat besar.



Gambar. 6 Data level kondensat yang ternormalisasi (hitam) dan hasil simulasi dari model yang didapatkan (hijau)

D. Analisis Tanggapan Sistem

Sebelum melakukan tanggapan sistem perlu dilakukan konversi dari hasil identifikasi sistem dalam bentuk fungsi alih diskrit (9) ke fungsi alih kontinu. Konversi tersebut memperoleh hasil sebagai berikut,

$$G_p(s) = \frac{3,479}{s^2 + 3,45s + 3,479} \quad (7)$$

Hasil tersebut kemudian disimulasikan dengan uji step menggunakan berbasis pengendali PI(D) yang terpasang (Bab III). Hasil simulasi menunjukkan tanggapan sistem pada kondisi *transient* yang tercantum pada Tabel 4.

TABEL 4
TANGGAPAN SISTEM TERPASANG PADA KONDISI TRANSIENT

Waktu penetapan (detik)	4,28
Nilai akhir	1
Waktu puncak (detik)	3,58
Waktu naik (detik)	0,756

Dari hasil uji step seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 3, sistem dengan pengendali PI(D) yang terpasang sudah sangat baik dan mampu menghilangkan kesalahannya. Namun, sistem terpasang mempunyai respon yang sangat cepat terhadap perubahan *set point* yang terlihat dari waktu penetapan sistem yang mencapai 4,28 detik. Proses yang terjadi di kondensor sangat fluktuatif sehingga katup kontrol bereaksi sangat responsif, yang berpotensi menyebabkan umur katup kontrol akan lebih cepat berkurang. Penalaan ulang sistem kendali diperlukan untuk mendapatkan performansi antara kebutuhan proses dan kinerja terbaik dari setiap komponennya seperti katup kontrol agar tidak terlalu responsif.

D. Penalaan Ulang Pengendali PI(D)

Untuk mengatasi masalah yang mungkin timbul di katup kontrol maka perlu dilakukan penalaan ulang. Pada penelitian ini, penalaan pengendali PI(D) yang digunakan adalah penalaan *robust response time* (RRT) dan menggunakan penalaan dengan menggunakan penalaan *singular frequency* (SFT) dengan berbasis perhitungan *integral absolute error* (IAE), *integral square error* (ISE), *integral time absolute error* (ITAE) dan *integral time square error* (ITSE).

1) Penalaan dengan RRT

Pada proses ini, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan penalaan dengan pengendali *proportional*, kemudian *proportional-integral* (PI) dan *proportional integral derivative* (PID) dengan mengatur *bandwidth* untuk mendapatkan performansi sistem yang paling baik. Tabel 4 membandingkan hasil dari penalaan dengan menggunakan metode RRT dengan variasi pengendali dan bandwidth.

Dari hasil penalaan dengan beberapa variasi pengendali, didapatkan bahwa metode *robust response time* pengendali proportional-integral memberikan hasil terbaik yaitu nilai waktu penetapan sebesar 1,22 detik, waktu puncak 1,22 detik, waktu naik 0,647 detik.

TABEL 4
PERBANDINGAN PENGENDALI TERPASANG DAN PENGENDALI SETELAH MELAKUKAN PENALAN ULANG.

Tanggapan transien	Menggunakan pengendali terpasang	Penalaan ulang dengan metode <i>Robust Response Time</i>		
		P	PI	PID
Waktu penetapan (detik)	4,28	2,1	3,61	1,97
Nilai akhir	1	0,781	1	1
Waktu puncak (detik)	3,58	0,882	1,22	1,31
Waktu naik (detik)	0,756	0,381	0,647	0,657

2) Penalaan dengan SFT

Pada proses ini, penalaan ulang pengendali PI(D) yang sudah ada bertujuan untuk memperbaiki tanggapan *transient* yaitu waktu penetapan enalaan dilakukan dalam tiga tahap yaitu penalaan pengendali P, pengendali PI dan pengendali PID.

TABEL 5
HASIL PENALAN DENGAN PENGENDALI PROPORTIONAL

Tanggapan transient	IAE	ISE	ITAE	ITSE
Waktu penetapan (detik)	2,29	2,29	2,29	2,29
Nilai akhir	0,9	0,9	0,9	0,9
Waktu puncak (detik)	0,547	0,547	0,547	0,547
Waktu naik (detik)	0,224	0,224	0,224	0,224

Hasil penalaan pengendali proportional (Tabel 5) menunjukkan memiliki kekurangan karena terdapat error pada keadaan tunaknya karena nilai saat kondisi tunak belum mencapai nilai satu. Oleh karena itu untuk memperbaiki tanggapan pada keadaan tunak dilakukan penalaan kembali menggunakan pengendali *proportional- integral* (PI). Hasil penalaan menggunakan pengendali PI (Tabel 6) memberikan hasil tanggapan *transient* yang beragam. Analisis menggunakan metode *integral square error* (ISE) menghasilkan nilai terbaik yaitu waktu penetapan sebesar 24,3 detik, dan tidak ada error saat keadaan tunak dan tidak ada kesalahan keadaan tunak. Secara keseluruhan hasil penalaan pengendali PI, metode ISE telah menunjukkan hasil yang bagus saat keadaan *transient* maupun saat keadaan tunaknya. Langkah selanjutnya adalah penalaan menggunakan pengendali PID diharapkan mampu memberikan kinerja keadaan *transient* yang lebih baik.

TABEL 6. HASIL PENALAN DENGAN PENGENDALI PI

Tanggapan transient	IAE	ISE	ITAE	ITSE
Waktu penetapan (detik)	1280	24,7	1280	1280
Nilai akhir	1	1	1	1
Waktu puncak (detik)	34,9	3,57	34,9	34,9
Waktu naik (detik)	693	1,03	693	693

Simulasi dengan menggunakan pengendali PID pada Tabel 7 menghasilkan nilai waktu penetapan sistem dan waktu puncak menjadi lebih cepat dari pengendali yang terpasang sehingga akan menjadi lebih responsif. Penalaan ulang yang telah dilakukan memberikan hasil bahwa pengendali proportional-integral (PI) ISE memberikan hasil yang terbaik. Tabel 8 membandingkan pengendali yang sudah terpasang dan pengendali PI hasil penalaan ulang.

TABEL 7
HASIL PENALAN DENGAN PENGENDALI PID

Tanggapan transient	IAE	ISBE	ITAE	ITSE
Waktu penetapan (detik)	2,15	2,35	8,34	2,15
Nilai akhir	1	1	1	1
Waktu puncak (detik)	3,89	5	3,82	3,89
Waktu naik (detik)	0,786	0,254	1,51	0,786

TABEL 8
HASIL PENALAN DENGAN PENGENDALI PI

	Pengendali terpasang	Pengendali PI metode ISE penalaan ulang
Waktu penetapan (detik)	4,28	24,7
Nilai akhir	1	1
Waktu puncak (detik)	3,58	3,57
Waktu naik (detik)	0,756	1,03

Hasil penalaan dengan metode ISE yang berupa fungsi alih pengendali PI selanjutnya di konversikan kembali menjadi konstanta pengendali sebagai berikut,

$$G_c(s) = \frac{K_i + K_p s}{s} = \frac{1,0669 - 0,384084s}{s} \quad (8)$$

dengan $K_i = 1,06$ dan $K_p = 0,84$.

Perubahan nilai waktu penetapan berpengaruh terhadap kinerja proses dan pengendalian kondensat sehingga jika nilainya semakin cepat dan semakin kecil maka akan meningkatkan efisiensi sistem, namun akan berpengaruh juga terhadap nilai waktu puncak dan waktu naik karena berpengaruh terhadap performansi katup kontrol, semakin cepat atau semakin kecil nilai waktu puncak dan waktu naik akan menyebabkan katup menjadi sangat responsif dan menyebabkan berkurangnya umur katup kontrol. Penalaan

baru dengan metode ISE memberikan nilai performansi yang seimbang antara kebutuhan proses dan kemampuan katup kontrol.

IV. KESIMPULAN

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini menunjukkan sistem dengan pengendali PI yang terpasang sudah sangat baik. Namun, sistem terpasang tersebut mempunyai respon yang sangat cepat terhadap perubahan *set point* yang terlihat dari waktu penetapan sistem yang mencapai 4,28 detik. Hasil tersebut dapat diperbaiki dengan menggunakan penalaan ulang sehingga didapatkan waktu penetapan yang lebih sesuai dengan sistem kondensor terpasang yaitu 24,7 detik dengan nilai dengan $K_i = 1,06$ dan $K_p = 0,84$.

Penelitian ini menunjukkan bahwa identifikasi sistem kalang tertutup dapat digunakan untuk melakukan asesmen kinerja dari pengendali terpasang. Pada studi kasus penelitian ini, beberapa variabel antara lain waktu penetapan, waktu puncak, waktu naik dapat dibandingkan secara *offline* untuk selanjutnya dapat dilakukan penalaan langsung secara *online* di lapangan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk penelitian lanjutan perlu dipikirkan identifikasi sistem kalang tertutup secara *online* sehingga asesmen dan penalaan ulang dapat dilakukan secara otomatis

REFERENSI

- [1] E.F. Wahl, *Geothermal Energy Utilization*, New York, US: John Wiley & Sons, 1977.
- [2] I.D. Landau, *Digital Control System: Design, Identification and Implementation*, Berlin, Germany: Springer – Verlag, 2006.
- [3] H.F. Logiani, “Analisis Kinerja Pengendali Level di Condenser dengan Identifikasi Kalang Tertutup,” Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia, 2013.
- [4] M. Wu, C. Wang, W. Cao, X. Lai, & X. Chen, “Design and application of generalized predictive control strategy with closed-loop identification for burn-through point in sintering process”, *Control Engineering Practice*, vol. 20 no.10, pp. 1065-1074, 2012.
- [5] R. Garrido, R. Miranda, “DC servomechanism parameter identification: A closed loop input error approach,” *ISA transactions*, vol. 51 no. 1, pp. 42-49, 2012.
- [6] *General Spesification of Condenser*, PLTP Unit IV PT.PGE Area Kamojang, 2006.
- [7] *Interlock Logic Diagram of Condenser*, PLTP Unit IV PT.PGE Area Kamojang, 2006.